

*Наведено методику визначення ефективності роботи тягового приводу електрорухомого складу на основі асинхронного тягового двигуна за допомогою розрахунку інтегрального ККД на прикладі електропоїзду постійного струму.*

**УДК 629.423.1:621.332.6**

**Б. Г. Любарський**, канд. техн. наук

**М. М. Калюжний**,

**Д. Ю. Зюзін**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет*

*«Харківський Політехнічний Інститут»*

*тел. 707 – 65 – 30*

**М. Л. Глєбова**, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГУНА**

Постійне зростання пасажиропотоку на залізницях України і збільшені вимоги до швидкості перевезення пасажирів привели останніми роками до створення швидкісних потягів здійснюючих перевезення пасажирів між крупними містами. Проте швидкість руху таких потягів обмежена зважаючи на застосування на них як джерело тяги застарілого рухомого складу. Так, наприклад, на експресі Харків–Київ як джерело тяги використовується електровоз змінного струму ЧС8, на електрифікованій змінним струмом ділянці залізниці Київ–Полтава і вантажним двохсистемним електровозом ВЛ-82м на ділянці Полтава–Харків, де електрифікація проведена як на постійному так і змінному струмі [1]. Швидкість руху такого потягу не перевищує 100.160 км/ч, що значно нижче за європейські і японські аналоги, для яких перевезення із швидкістю 200...300 км/год стали повсякденною реальністю. Основна причина такої низької швидкості, а як наслідок меншої конкурентоспроможності залізничного транспорту перед, наприклад, автомобільним транспортом криється в першу чергу в недосконалості рухомого складу. В більшості країн Європи і Японії швидкісні пасажирські перевезення здійснюються з використанням як локомотивної, так і моторвагонної тяги. Високошвидкісні електропоїзди на залізницях України відсутні. [2,3]. Серцем рухомого складу (ЕРС) є тяговий електропривод – сукупність пристроїв, призначених для перетворення електричної енергії, отриманого з контактної мережі, в корисну роботу по переміщенню рухливого складу. Тому найважливішою задачею, яку треба вирішити для створення мережі швидкісних магістралей, є створення рухомого складу і його найважливішого елемента – тягового електроприводу. Саме від його енергетичної ефективності і витрат на експлуатацію залежатиме конкурентоспроможність пасажирських перевезень на швидкісних лініях. Тому при розробки нових типів рухомого складу встає питання вибору типу його тягового приводу і основної його складової тягового електродвигуна. Сучасний електричний рухомий склад «Укрзалізниці» створено на основі колекторних двигунів постійного або пульсуючого струмів. Однак в останні часи усі передові розвинуті країни розробляють електричний рухомий склад на основі безконтактних тягових двигунів. Найбільш поширений з них це асинхронний двигун. Для визначення ефективності тягового приводу з урахуванням режимів роботи тягового приводу для конкретного ЕРС в роботі [4,5] запропоноване використовувати критерій ефективності – інтегральний ККД.

В роботі поставлена ціль: навести методику визначення ефективності роботи тягового приводу електрорухомого складу на основі асинхронного тягового двигуна за допомогою розрахунку інтегрального ККД на прикладі електропоїзду постійного струму, що рухається на ділянці колії з встановленим профілем та графіком руху.

Визначення інтегрального ККД проведено для базової секції електропоїзду з поставністю ГМ-П-ГМ. Кількість висій, що обмоторено – 8. Параметри тягового двигуна: потужність 350 кВт, номінальна частотою обертання 822 об/хв., лінійна напруга живлення 800 В при номінальній швидкості руху. Спосіб охолодження – само вентиляція, коефіцієнт корисної дії – 0,96 о.е., коефіцієнт потужності 0,972 о.е..

За допомогою програмно-алгоритмічного комплексу визначення режимів роботи тягової мережі постійного струму [6] для двоколіїної електрифікованої ділянки залізниці постійного струму з двостороннім живленням і постом секціонування з наступними параметрами тягової мережі:

- номінальна напруга, кВ – 3,3;
- відстань між підстанціями, м – 16880;
- відстань від підстанції до поста секціонування, м – 10000;
- питомий опір контактної мережі, Ом/м – 0,00004;
- питомий опір рейкової мережі, Ом/м – 0,00002
- параметри знижувального трансформатора: потужність кВА – 10000;  
напруга короткого замикання % – 17;
- параметрами профілю шляху довжини відрізків колії ( $l_k$ ), уклони відрізків ( $i_k$ ), радіуси та довжини кривих ( $R_k, S_{крк}$ ) наведених в табл. 1;

Таблиця 1.

Параметри профілю шляху

Величина	Відрізки															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$l_k$ , м	1900	1300	2400	1700	800	1700	900	2400	900	1600	2200	1600	800	2100	1200	2100
$i_k$ , ‰	0	8,1	4	-5,8	-3	-8,9	0	9,8	14	6	12	2,8	-8	-8,9	-6,3	0
$R_k$ , м	-	-	3400	400	-	-	-	1400	1900	-	-	-	1900	600	-	-
$S_{крк}$ , м	-	-	1800	700	-	-	-	1900	290	-	-	-	1200	1200	-	-

при тязі електропоїздом з асинхронними тяговими двигунами і живленням від контактної мережі постійного струму:

- маса, т – 34;
  - довжина, м – 18;
  - кількість тягових двигунів – 8;
  - передавальне відношення тягового редуктора – 2,61
- параметрами руху:
- встановлена швидкість руху потягу, км/год – 60-120;
  - допустиме прискорення руху, м/с<sup>2</sup> – 0,6

була вирішена тягова задача і визначені криві руху, а також енергетичні показники роботи електрорухомого складу так як:

- швидкість потягу;

- пройдений шлях ;
- струм, споживаний електропоїздом;
- напруга на тягових двигунах;
- витрата енергії на рух;
- ККД та коефіцієнт потужності тягового двигуна
- частота обертання двигуна.

Результати розрахунків наведено на рис. 1.

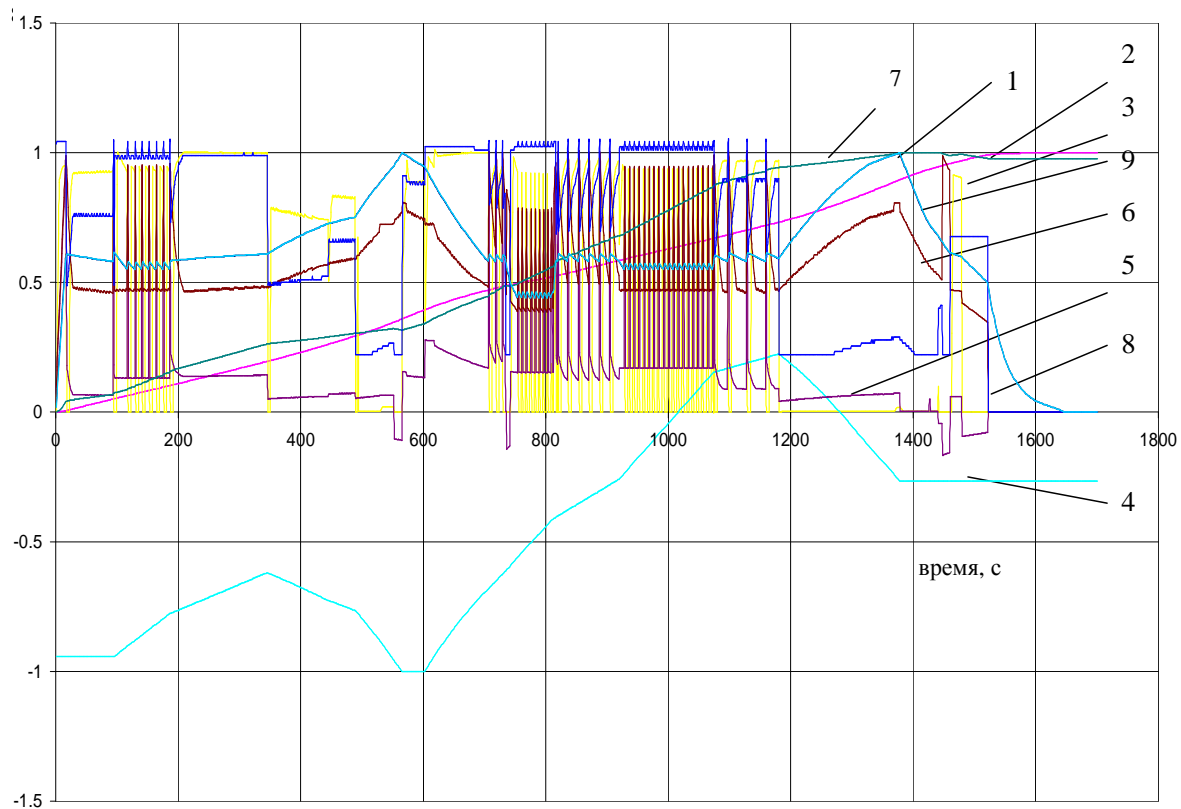


Рис. 1. – Криві руху поїзду

- 1 – швидкість руху х 90,8, км/ч; 2 – пройдений шлях х 25694, м; 3 – ККД х 0,9;  
 4 - профіль шляху х 318, м; 5 - струм електропоїзду х 968, А;  
 6 – напруга двигуна х 461, В; 7 - втрати енергії х 0,9, кВт·год;  
 8 – коефіцієнт потужності х 0,9 ; 9 – частота обертання х 1247, об/хв;

За результатами рішення тягової задачі визначаємо час роботи приводу в різних режимах. В табл. 2 приведено час роботи приводу залежно від моменту в діапазоні  $\pm 100$  Нм і  $\pm 50$  об/хв. Як видно з табл. 2 тяговий привід працює велику частину часу при 600...900 об/хв, з електромагнітним моментом 200...800 Нм, що відповідає потужності двигуна 12,5 до 75 кВт, що значно нижче за номінальну потужність двигуна.

Для визначення інтегрального ККД визначаємо ймовірність роботи приводу в різних режимах по формулі:

$$Z(M, n) = \frac{\sum t(M, n)}{T}$$

де  $\Sigma(M, n)$  - сумарний час роботи приводу в  $(M, n)$ -тому режимі роботи згідно табл. 2,  $T$  - час тягової роботи електроприводу.

Результати розрахунків наведено табл. 3.

Таблиця 2.

## Час роботи приводу в різних режимах, с

		Частота обертання, об/хв													
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Електромагнітний момент, Нм	4000	0	0	2	2	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0
	3800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3400	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	3200	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2800	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
	2600	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2200	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	1800	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	1600	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0
	1400	0	0	0	0	0	0	18	124	0	0	0	0	0	0
	1200	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0
	1000	0	0	0	0	0	24	0	3	0	0	0	0	0	0
	800	0	0	0	0	0	1	39	57	25	20	21	11	0	0
	600	0	0	0	0	0	0	29	258	0	0	0	2	0	0
	400	0	0	0	0	0	0	2	89	0	0	0	13	24	0
	200	124	14	12	9	7	5	31	137	111	111	75	87	62	0
	-200	0	0	0	0	0	0	3	10	10	0	0	0	0	0

Експлуатаційні витрати для ЕРС можна визначити співвідношенням:

$$Z_e = Z_m + Z_{ec} + Z_{TOuP}$$

де  $Z_m$  - витрати на реалізацію тяги,  $Z_{ec}$  - витрати на роботу допоміжних пристроїв і  $Z_{TOuP}$  - витрати на технічне обслуговування і ремонт.

Основними витратами для магістрального ПС є витрати на реалізацію сили тяги які залежать від типу тягового приводу.

Витрати на тягу в певному режимі роботи рівні:

$$Z_{mj} = \frac{M n}{\eta_j} t_j C_e = \frac{M n}{\eta_j} Z_j C_e T$$

де  $\eta_j$  - миттєвий КПД,  $C_e$  - ціна електроенергії,  $M$  - момент,  $n$  - частота обертання,  $t_j$  - час роботи приводу в  $j$  режимі,  $Z_j$  - вірогідність роботи приводу в  $j$  режимі,  $T$  - час експлуатації ЕРС.

Проте для попередньої оцінки миттєвий ККД приводу можна замінити енергетичним чинником двигуна, що дозволить оцінити ефективність без розрахунку КПД перетворювача в режимах неповної потужності.

В результаті отримаємо:

$$Z_{mj} = \frac{M n}{PF_j} t_j \quad \zeta_e = \frac{M n}{PF_j} Z_j \zeta_e T$$

де  $PF_j$  – енергетичний чинник в різних режимах роботи приводу.

Для його визначення характеристики ККД і коефіцієнта потужності зведні в табличну форму зручну для розрахунків (табл. 4 і 5)

Енергетичний чинник двигуна представлено в табл. 6

Таблиця 3.

## Ймовірність роботи приводу в різних режимах о.е/1000

		Частота обертання, об/хв													
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Електромагнітний момент, Нм	4000	0	0	1,176	1,176	1,176	1,176	2,352	1,176	0	0	0	0	0	0
	3800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3400	0	0	0	0	0	0	0	1,176	0	0	0	0	0	0
	3200	0	0	0,588	0	0	0	0	0,588	0	0	0	0	0	0
	3000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2800	0	0	0	0	0	0	0,588	1,176	0	0	0	0	0	0
	2600	0	0	0	0	0	0	0	0,588	0	0	0	0	0	0
	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2200	0	0,588	0	0	0	0	0	0,588	0	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0	0	0	2,352	0	0	0	0	0	0
	1800	0	0	0	0	0	0	0	0,588	0	0	0	0	0	0
	1600	0	0	0	0	0	25,279	0	0	0	0	0	0	0	0
	1400	0	0	0	0	0	0	10,582	72,898	0	0	0	0	0	0
	1200	0	0	0	0	0	0	0	30,57	0	0	0	0	0	0
	1000	0	0	0	0	0	14,109	0	17,64	0	0	0	0	0	0
	800	0	0	0	0	0	0,588	22,928	33,51	14,697	11,758	12,346	6,467	0	0
	600	0	0	0	0	0	0	17,049	151,675	0	0	0	1,176	0	0
	400	0	0	0	0	0	0	1,176	2,322	0	0	0	7,643	14,109	0
	200	72,898	8,23	7,055	5,291	4,115	2,939	18,225	80,541	65,256	65,256	44,092	51,146	36,449	0
	-200	0	0	0	0	0	0	1,764	5,879	5,879	0	0	0	0	0

Витрати на тягу за весь час

$$Z_m = \zeta_e T \sum_{F=0}^{M_{\max}} \sum_{n=-n_{kon}}^{M_{kon}} \left( \frac{Z M n}{PF} \right) = \frac{\zeta_e T M_{\max} n_{kon}}{\int \eta}$$

де  $\int \eta$  - інтегральний ККД і тягового приводу по співвідношенню:

$$\int \eta_i = \frac{M_{\max} n_{kon}}{\sum_{M=0}^{M_{\max}} \sum_{n=-n_{kon}}^{n_{kon}} \left( \frac{Z M n}{PF} \right)}$$

Таблиця 4.

## ККД двигуна

Електромагнітний момент, Нм		Частота обертання, об/хв													
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	
	4000	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,950583	0,950583	0,960071	0,963569	0,963569	0,963569	0,963569	0,963569	
	3800	0,878248	0,878248	0,905819	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	
	3600	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,955831	0,960071	0,960071	0,960071	0,960071	0,960071	
	3400	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,943919	0,943919	0,943919	0,943919	0,963569	0,963569	0,963569	0,963569	
	3200	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,950583	0,950583	0,950583	0,950583	0,966503	0,966503	
	3000	0,706269	0,706269	0,706269	0,905819	0,905819	0,905819	0,943919	0,943919	0,955831	0,960071	0,960071	0,960071	0,960071	
	2800	0,706269	0,706269	0,706269	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,935178	0,950583	0,950583	0,960072	0,960072	0,966503	
	2600	0,706269	0,706269	0,706269	0,923209	0,923209	0,923209	0,923209	0,943919	0,943919	0,955831	0,955831	0,960002	0,963569	
	2400	0,706269	0,706269	0,706269	0,90582	0,90582	0,90582	0,935178	0,935178	0,943919	0,943919	0,955831	0,955831	0,960072	
	2200	0,706269	0,706269	0,706269	0,87824	0,827852	0,923209	0,923209	0,935178	0,943919	0,950583	0,950583	0,950583	0,950583	
	2000	0,706269	0,706269	0,706269	0,87824	0,90582	0,90582	0,923209	0,923209	0,935178	0,943919	0,943919	0,950583	0,950583	
	1800	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,943919	0,943919	0,950583	0,950583	
	1600	0,706269	0,706269	0,827852	0,827852	0,827852	0,90582	0,90582	0,90582	0,90582	0,935178	0,935178	0,943919	0,943919	
	1400	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,706269	0,90582	0,90582	0,923209	0,923209	0,935178	0,935178	0,943919	
	1200	0,706269	0,706269	0,706269	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,90582	0,90582	0,923209	0,923209	0,935178	0,935178	
	1000	0,706269	0,706269	0,706269	0,827852	0,827852	0,878248	0,878248	0,878248	0,90582	0,90582	0,923209	0,923209	0,935178	
	800	0	0,70627	0,70627	0,70627	0,70627	0,827852	0,827852	0,827852	0,878248	0,878248	0,878248	0,90582	0,90582	
	600	0	0	0,70627	0,70627	0,70627	0,827852	0,827852	0,827852	0,878248	0,878248	0,878248	0,90582	0,90582	
	400	0	0	0	0,70627	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	
	200	0	0	0	0	0,70625	0,70625	0,70625	0,70625	0,70625	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852	
-200	0	0	0	0	0,70625	0,70625	0,70625	0,70625	0,70625	0,827852	0,827852	0,827852	0,827852		

Такий інтегральний КПД може характеризувати тяговий привід як з погляду реалізації його якнайкращих енергетичних характеристик в певних режимах, так і з погляду використання його в цих режимах оскільки,  $T$ ,  $M_{\max}$ ,  $n_{kon}$  величини не залежні від типу тягового приводу і режиму експлуатації ЕРС. Інтегральний КПД величина відносна. Фізичне значення цієї величини таке: інтегральний КПД рівний 1 тільки у тому випадку, коли тяговий привід не має втрат і ЕРС завжди працює в режимі максимальної сили тяги при конструкційній швидкості руху ЕРС, тобто інтегральний КПД урахує не тільки ККД приводу, але і режим експлуатації ЕРС.

Таблиця 5.

ККД двигуна

	Частота обертання, об/хв													
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Електромагнітний момент, Нм	4000	0,972581	0,972581	0,972581	0,972581	0,972581	0,972581	0,972581	0,972347	0,972154	0,972154	0,972154	0,972154	0,972154
	3800	0,975273	0,975273	0,975273	0,974351	0,974351	0,972869	0,972869	0,972869	0,972869	0,967436	0,967436	0,967436	0,967436
	3600	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692	0,96692
	3400	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558	0,96558
	3200	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,964849	0,961895	0,961895	0,961895	0,961895
	3000	0,963838	0,963838	0,963838	0,963838	0,963838	0,963838	0,963838	0,958765	0,958765	0,958765	0,958765	0,958765	0,958765
	2800	0,954922	0,954922	0,954922	0,954921829	0,954922	0,954922	0,954922	0,954922	0,953048	0,953048	0,948218	0,948218	0,948218
	2600	0,951841	0,951841	0,951841	0,951840905	0,951841	0,951841	0,951841	0,947923	0,947923	0,945617	0,945617	0,945617	0,944099
	2400	0,947223	0,947223	0,947223	0,947223061	0,947223	0,947223	0,944033	0,944033	0,944033	0,944033	0,937783	0,937783	0,937783
	2200	0,955345	0,955345	0,955345	0,955344574	0,955345	0,93854	0,93854	0,93854	0,93806	0,93806	0,93806	0,914167	0,914167
	2000	0,939577	0,939577	0,939577	0,939576854	0,930238	0,930238	0,930238	0,930238	0,927603	0,927603	0,927603	0,927603	0,927603
	1800	0,930238	0,930238	0,930238	0,930237556	0,930238	0,930238	0,924119	0,924119	0,924119	0,916624	0,916624	0,916624	0,916624
	1600	0,916377	0,916377	0,916377	0,916377147	0,916377	0,916377	0,916377	0,908763	0,908763	0,908763	0,908763	0,908763	0,908763
	1400	0,943474	0,943474	0,924673	0,924673451	0,924673	0,924673	0,892034	0,892034	0,892034	0,892034	0,892034	0,892034	0,881251
	1200	0,889261	0,889261	0,889261	0,889261084	0,889261	0,889261	0,889261	0,871463	0,871463	0,871463	0,871463	0,864639	0,864639
	1000	0,889261	0,889261	0,889261	0,889261084	0,889261	0,864295	0,864295	0,864295	0,850303	0,850303	0,850303	0,850303	0,850023
	800	0,884895	0,884895	0,884895	0,884895122	0,884895	0,884895	0,884895	0,884895	0,884895	0,8072	0,8072	0,8072	0,806204
	600	0	0,780953	0,780953	0,780952845	0,780953	0,780953	0,780953	0,780953	0,780953	0,780953	0,780953	0,764343	0,764343
	400	0	0	0,734084	0,734084202	0,734084	0,734084	0,734084	0,734084	0,734084	0,726798	0,726798	0,726798	0,726798
	200	0	0	0	0,688943343	0,688943	0,688943	0,688943	0,688943	0,662565	0,662565	0,662565	0,662565	0,629104
	-200	0	0	0	0,688943343	0,688943	0,688943	0,688943	0,688943	0,662565	0,662565	0,662565	0,662565	0,629104

Таблиця 6.

Енергетичний фактор двигуна

	Частота обертання, об/хв													
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Частота обертання, об/хв	4000	0,909536	0,909536	0,909536	0,909536354	0,909536	0,924519	0,924519	0,933522	0,936737	0,936737	0,936737	0,936737	0,936737
	3800	0,856531	0,856531	0,883421	0,899529612	0,89953	0,898161	0,898161	0,898161	0,898161	0,893146	0,893146	0,893146	0,893146
	3600	0,800467	0,800467	0,800467	0,800466656	0,800467	0,800467	0,800467	0,924212	0,928312	0,928312	0,928312	0,928312	0,928312
	3400	0,902989	0,902989	0,902989	0,902989173	0,902989	0,911429	0,911429	0,911429	0,911429	0,930403	0,930403	0,930403	0,930403
	3200	0,681443	0,681443	0,681443	0,681442938	0,681443	0,681443	0,681443	0,917169	0,917169	0,914361	0,914361	0,929674	0,929674
	3000	0,680729	0,680729	0,680729	0,873062773	0,873063	0,873063	0,909785	0,904997	0,916417	0,920482	0,920482	0,920482	0,920482
	2800	0,674432	0,674432	0,674432	0,893021886	0,893022	0,893022	0,893022	0,893022	0,905952	0,905952	0,910357	0,910357	0,916455
	2600	0,672256	0,672256	0,672256	0,87874809	0,878748	0,878748	0,878748	0,894762	0,894762	0,90385	0,90385	0,907811	0,909705
	2400	0,668994	0,668994	0,668994	0,858013593	0,858014	0,858014	0,882839	0,882839	0,891091	0,891091	0,896362	0,896362	0,900339
	2200	0,67473	0,67473	0,67473	0,839021819	0,790884	0,866468	0,866468	0,877702	0,885452	0,891704	0,891704	0,868992	0,868992
	2000	0,663594	0,663594	0,663594	0,825173976	0,842628	0,842628	0,858804	0,858804	0,867474	0,875582	0,875582	0,881763	0,881763
	1800	0,656998	0,656998	0,656998	0,656997948	0,656998	0,656998	0,652677	0,652677	0,652677	0,865219	0,865219	0,871327	0,871327
	1600	0,647209	0,647209	0,758625	0,758624654	0,758625	0,830073	0,830073	0,823175	0,823175	0,849855	0,849855	0,857798	0,857798
	1400	0,666347	0,666347	0,653068	0,653068194	0,653068	0,653068	0,808022	0,808022	0,823534	0,823534	0,834211	0,834211	0,83183
	1200	0,628058	0,628058	0,628058	0,736176567	0,736177	0,736177	0,736177	0,789389	0,789389	0,804542	0,804542	0,808592	0,808592
	1000	0,628058	0,628058	0,628058	0,736176567	0,736177	0,759065	0,759065	0,759065	0,770222	0,770222	0,785008	0,785008	0,794922
	800	0	0,624975	0,624975	0,624974878	0,624975	0,732562	0,732562	0,732562	0,777157	0,708922	0,708922	0,731178	0,730276
	600	0	0	0,551564	0,551563566	0,551564	0,646513	0,646513	0,646513	0,68587	0,68587	0,68587	0,692357	0,692357
	400	0	0	0	0,518461649	0,607713	0,607713	0,607713	0,607713	0,607713	0,601681	0,601681	0,601681	0,601681
	200	0	0	0	0	0,486566	0,486566	0,486566	0,486566	0,467937	0,548506	0,548506	0,548506	0,520805
	-200	0	0	0	0	0,486566	0,486566	0,486566	0,486566	0,467937	0,548506	0,548506	0,548506	0,520805

Інтегральний ККД може служити складовою частиною критерію поточних витрат на експлуатацію приводу.

Для тягового приводу, що розглядається, інтегральний КПД склав 0,1031 о.е. або 10,31%.

### Висновки

Запропонований критерій оцінки ефективності тягового приводу – інтегральний КПД, який дозволяє врахувати енергетичні параметри роботи приводу (КПД і коефіцієнт потужності двигуна) і режими його роботи при русі рухомого складу на ділянці шляху, де він експлуатується.

Інтегральний КПД для розробленого приводу склав 10,31%.

Визначено, що найбільший час тяговий двигун працює з КПД 0,827852 о.е. і коефіцієнтом потужності 0,780953 о.е., а енергетичний чинник в цих режимах складає величину 0,646513 о.е.

### Література

1. Калинин В.К. Электровозы и электропоезда. – М.: Транспорт, 1991. – 480с.
2. Корниенко В.В., Омеляненко В.И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
3. Любарский Б. Г., Зюзин Д. Ю., Рябов Е. С., Глебова Т. В. Тяговый привод для высокоскоростного подвижного состава // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – №42., С. 72-77.
4. Любарский Б.Г. Концепция выбора типа тягового электропривода современного скоростного подвижного состава / Б.Г. Любарский // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2010. – № 39. – С. 102–107
5. Любарский Б.Г. Выбор критерия эффективности тягового привода подвижного состава / Б.Г. Любарский // Тезисы VI Международного симпозиума «Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте Eltrans'2011, Санкт-Петербург: ПГУПС., 25-28 октября 2011 г – С.78
6. Основы электрической тяги, системы и режимы тяговых сетей постоянного тока. / Под. ред.. Омеляненко В.И. – Харьков НТУ «ХПИ», 2002. – 164с.

---



---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Б. Г. Любарский, Н. Н. Калюжный, Д. Ю. Зюзин, М. Л. Глебова

*Приведено методику определения эффективности работы тягового привода электроподвижного состава на основе асинхронного тягового двигателя посредством расчета интегрального КПД на примере электропоезда постоянного тока.*

## DECISION OF EFFICIENCY OF HAULING electric drive OF Electric locomotive COMPOSITION ON THE BASIS OF ASYNCHRONOUS HAULING ENGINE

B. G. Lyubarskiy, N. N. Kalyugniy, D. Y. Zyuzin, M. L. Glebova

*A method is resulted of decision of efficiency of work of hauling occasion of electric locomotive composition on the basis of asynchronous hauling engine by means computation of integral KPD on the example of electric train of direct current*